

大気境界層内の熱輸送機構と遷移過程に関する研究

著者	萩野谷 成徳
号	853
発行年	1986
URL	http://hdl.handle.net/10097/25396

氏名・（本籍）	はぎの や しげ のり 萩野谷 成 徳
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理第 853 号
学位授与年月日	昭 和 62 年 3 月 10 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最 終 学 歴	昭和55年 3 月 東北大学大学院理学研究科 （前期 2 年の課程）地球物理学専攻修了
学位論文題目	大気境界層内の熱輸送機構と遷移過程に関する研究
論文審査委員	（主査） 教 授 近 藤 純 正 教 授 田 中 正 之 教 授 鳥 羽 良 明

論 文 目 次

序 論

第 1 章 一様平坦な接地層における遷移過程

- 1.1 はじめに
- 1.2 観測の概要
- 1.3 結 果
- 1.4 まとめ

第 2 章 平坦地における混合層の発達過程

- 2.1 はじめに
- 2.2 基本的な関係式の導出
- 2.3 混合層の発達を表すパラメータ

2.4 混合層の発達モデル

2.5 観測との比較

2.6 まとめ

第3章 混合層の発達（盆地状地形）

3.1 はじめに

3.2 モデル

3.3 突風による盆地内安定層の破壊

3.4 一晚平均の風による盆地内安定層の破壊

3.5 まとめ

第4章 複雑地表面状の熱輸送過程

4.1 はじめに

4.2 熱輸送量を求める方法

4.3 強風時平坦地上での大気冷却量

4.4 強風時平坦地上での熱輸送係数の比

4.5 盆地状地形の熱輸送量

4.6 まとめ

第5章 結 語

論文内容要旨

一様平坦地上の定常的な大気境界層の振舞いは、従来の研究では明らかにされている。現段階における研究対象は“非定常の大気境界層”，および“水平方向に一様でない複雑地形上の境界層”に向けられている。すなわち夜間から日中にかけての境界層の遷移過程，日中の混合層の発達過程，局地循環，広域のエネルギー交換量の見積等が研究の対象である。これらは現実の大気の振舞いを知るために重要な研究課題となっている。

本研究は，一様平坦地における非定常過程と，複雑地形上における広域の熱輸送過程を明らかにしたものである。

まず，非定常過程に関する研究では，接地層の遷移過程と大気混合層の発達過程に焦点をおいた。特に興味の対象としたのは，大気安定度が急激に変化する場合の接地層である。また，混合層の発達過程では初期の温位分布と入力エネルギーが外部条件として与えられたとき，時間積分により混合層高度を予測することである。

次に複雑地形上の広域のエネルギー交換量の見積に関する研究では，夜間の大気が安定な場合について，多様な粗度要素からなる現実の平坦地と盆地状地形を対象とした。鉛直方向のエネルギー輸送量については，大気中のある水平面を通過するものと，地表面に輸送されるものの2つについて求めた。研究の結果，広域のエネルギー輸送量を求めるいくつかの方法を示すことができた。第1の方法では上空一般風が強いとき，夜間冷却量と風速のデータと熱収支式を使って広域の現実地表面における熱輸送量を求めることができる。第2の方法では，盆地内部に形成された安定層が一般風の乱流混合で破壊される場合，その前後の気温鉛直分布の変化から盆地上端を鉛直方向に通過する熱輸送量を見積ることができる。第3の方法では，微風時の盆地内部の冷却量から盆地内全地表面に輸送される一晩平均顕熱輸送量を求めることができる。これらは広域の熱交換を見積る有力な方法として提出されたものである。

各章についてまとめると以下ようになる。

第1章では遷移過程にある接地層の観測データを解析した。データは非定常性の特に強い安定層から不安定層への遷移過程，およびその逆の遷移過程を含んでいる。得られた結果は，(1)熱フラックスが平均温位勾配に比例するとする拡散係数の概念(K-theory)では説明のつかない熱輸送過程が見い出された。それを逆勾配顕熱輸送(C.G.H.)と呼ぶ。C.G.H.は中立付近の条件($0 < Ri < 0.02$)で観測された。ここに Ri は局所リチャードソン数である。また顕熱フラックスが零になる臨界温位勾配は $0.005\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ であることが見い出され，C.G.H.が生じる機構について2つのモデルを提出した。その1つは隣接する暖気塊と冷氣塊の交換過程，他は安定層中への熱気塊の侵食過程である。これら2つの機構を考慮することによって，顕熱フラックスが零となる高度における混合距離(l_0)を見積ることができる。更にこの考えをEkman層にも適用して，Ekman層上部の l_0 が20~50mであることを得た。(2)夜間の安定な定常状態におけるスケーリング温度の近似値は上空風速と接地層の冷却率の関数であることを示し，その近似値

の平均値は $0.06 \sim 0.1^\circ\text{C}$ であることを得た。この値を用い、定常安定な快晴夜間の正味放射量と顕熱フラックスの比に関する関係式を求めた。

第2章では、混合層の形成・維持機構として機械的な混合作用と地表面からの顕熱供給による加熱作用の2つの機構を組み合わせた混合層発達の一次元ジャンプモデルを考え、以下のことを明らかにした。(1) 日中の混合層の厚さ h の無次元発達速度 v と安定度パラメータとの関係式を得た（ここに安定度パラメータはバルクリチャードソン数 Ri_B およびモーニン・オブコフの安定度長 L で、前者は初期の温位勾配を代表し後者は地表面からの熱供給量を代表するものである）。すなわち、 $Ri_B \geq 50$ の時 v は Ri_B に反比例する、つまり初期の大気が非常に安定で混合層高度が高い場合または乱流混合作用が弱い場合には発達速度は小さい。また Ri_B が同じ場合は、 $|h/L|$ の大きいときすなわち地表面からの熱供給が盛んなときに発達速度が大きい。しかし、 $Ri_B < 30$ の時は発達速度は Ri_B によらず一定値に近づく。さらに、 $Ri_B \rightarrow 0$ の場合に対して次の3つの異なる状態の混合層発達速度を求めた。すなわち、初期の温位勾配が中立に近い場合、混合層発達の初期、平板上に発達する内部境界層を混合層高度とみなす場合である。いずれの場合も無次元発達速度はほぼ $0.1 \sim 0.5$ となった。ここで、もし混合層中層での乱流強度として適当な速度パラメータを使うと、大気混合層と平板上の内部境界層の無次元発達速度は同じ大きさとなり、両者を統一的に扱うことができることが明らかになった。(2) 本章で考えたモデルを成長段階の混合層に適用した結果、混合層高度の観測結果をよく説明することができた。(3) 混合層の概念を、拡張された広義の混合層に対して適用し、海洋表層の混合層から台風域の対流高度まで幅広い範囲の観測事実を理論的に説明することができた。

第3章では、夜間の盆地状地形の安定層上部に形成される混合層の発達について研究した。ここで盆地上端に対してなした一般風の機械的乱流の仕事が盆地内部の大気的位置エネルギーを変化させ、安定層を破壊する現象を対象とした。この際のパラメータとして仕事変換率 m と乱流強度 $\alpha = \sigma_w / U$ を導入し、一般風が突風の吹いて安定層が破壊される場合と、一晩の平均風速によって安定層が破壊される場合について考察した。得られた結果は、(1) 一晩平均風速データから求めた安定層破壊の臨界風速 U_{cr} は盆地の深さと共に大きくなる。(2) 盆地上空の夜間の乱流強度は盆地の深さと共に大きくなり、また盆地の深さと水平スケールの比が小さいほど平坦地上の値に近くなる。乱流強度は夜間よりも日中の方が熱的作用により大きく、日中は平坦地上空よりも盆地上空の方が地形により乱流が励起される分だけ大きい。このように乱流強度は顕著な地形依存性、安定度依存性を持つことがわかった。

第4章では平坦地と盆地状地形における夜間冷却量から、広域の熱輸送量ならびに熱輸送係数を求める方法を見だし、その応用からつぎの結果を得た。(1) 現実の種々の地物からなる地表面の熱バルク係数 C_H と運動量バルク係数 C_M の比は都市域で小さく、平坦地に近い田園集落や海岸域で大きい。つまり地物として存在する粗度物体の配列密度が大きい地表面では、摩擦抵抗に比べて熱交換が小さいといえる。(2) 微風時の盆地内部の平均顕熱と熱輸送係数は盆地の大きさとともに大きくなる。(3) 盆地全体の熱輸送係数は微風時でも零ではなく一定値で、風が強く

なると風速と共に増加する。(4) 強風時の盆地内斜面および盆地底における熱バルク係数は $(0.7 \sim 2.4) \times 10^{-3}$, 平坦地上のバルク係数は $(0.5 \sim 1.3) \times 10^{-3}$ である。(5) 一般風が強いとき盆地上端を通過する顕熱は風速と共に増加する。(6) 夜間の会津盆地における大気的全冷却量のうち66%が大気から斜面への顕熱による冷却で, 34%が大気自身の放射による冷却である。また, 盆地内全地表面の熱収支は正味放射による冷却を100%とすると, 顕熱, 潜熱および地中伝導熱による加熱はそれぞれ43%, 6%, 51%となり, 顕熱が平坦地における場合よりも非常に大きい。これは複雑地形においては, 斜面流が熱収支に重要な役割をはたしていることを示すものである。

論文審査の結果の要旨

本研究は平坦地における大気境界層の非定常過程と、複雑地形上における熱輸送過程を明らかにしたものである。非定常過程に関する研究では、接地気層の大気安定度が急激に変化する場合と、大気混合層の発達過程を取り扱った。複雑地形上の広域のエネルギー交換量の見積りに関する研究では、夜間の大気が安定な場合について、多様な地物が混在する現実の平坦地と盆地状地形を対象とし、広域の熱交換量を求める有力な方法を示した。

主な新しい知見として次のことを得ている。(1) 平均温位勾配と逆方向の顕熱輸送の現象を見出し、その機構についてモデルを提出した。これを利用して混合層上部の混合距離を見積ることができた。(2) 混合層の形成・維持機構として機械的混合作用と顕熱供給による加熱作用の2つの機構を組み合わせたモデルを提出し、無次元の混合層発達速度と安定度のパラメータとの関係式を得た。(3) 盆地上空の乱流強度は顕著な地形依存性と安定度依存性を持つことを見いだした。(4) 現実の種々の地物から成る地表面の熱バルク係数と運動量輸送バルク係数の比は都市域で小さく、平坦地に近い田園集落や海岸域で大きいこと。(5) 盆地状地形における顕熱輸送量は平坦地における場合より大きく、これは複雑地形においては、斜面流が熱収支に重要な役割を果たしていることを示すものである。

以上の結果は、本人が自立して研究活動を行なうに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって、萩野谷成徳提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。